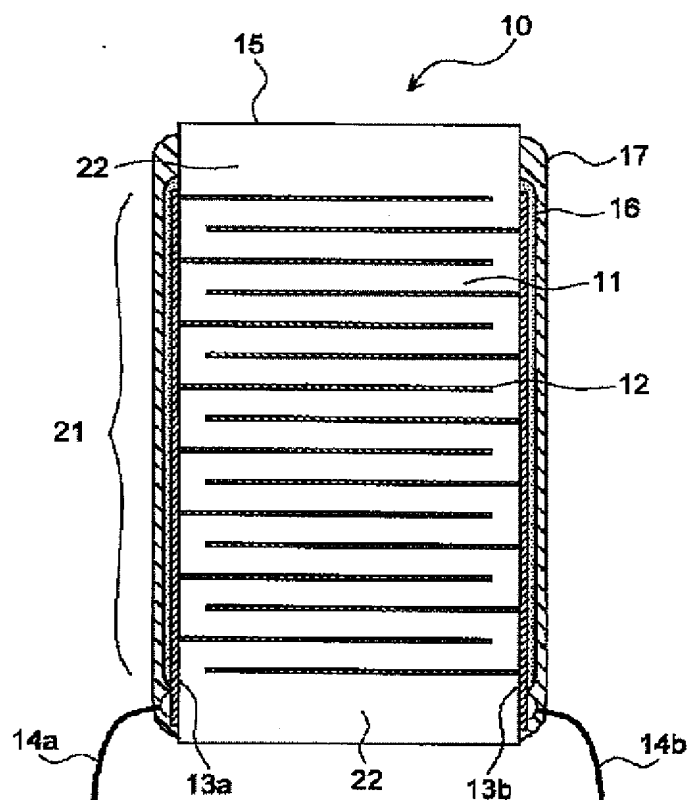


Patent Abstracts of Japan

TITLE : LAMINATED PIEZOELECTRIC
ELEMENT AND ITS MANUFACTURING
METHOD AS WELL AS SEALING
MATERIAL FOR LAMINATED
PIEZOELECTRIC ELEMENT



SOLUTION: A piezoelectric actuator 10 of one embodiment of the laminated piezoelectric element comprises piezoelectric ceramics 11 and internal electrodes 12 alternately laminated, in such a manner that reverse electric fields to each other are applied to the adjacent piezoelectric ceramics 11 via the electrodes 12 to bring about a displacement at the ceramics 11. A substantially entirety of the side face of the actuator 10 is covered with a glass to improve its wet resistance and to enhance its reliability and durability.

COPYRIGHT: (C)2003,JPO

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開2003-8092

(P2003-8092A)

(43)公開日 平成15年1月10日(2003.1.10)

(51) Int.Cl.⁷

識別記号

FI

テ-マ-ト* (参考)

H0 1 L 41/083

H0 1 L 41/08

5

41/22

41/22

Z

審査請求 未請求 請求項の数17 O.L (全 10 頁)

(21)出願番号 特願2001-186053(P2001-186053)

(22) 出願日 平成13年6月20日(2001.6.20)

(71)出題人 500444357

宗片 睦夫

千葉県千葉市若葉区千城台西 2-19-51

(71)出題人 500518717

清水 紀夫

東京都日野市南平5-3-45

(71)出願人 396020800

科学技術振興事業団

埼玉県川口市本町4丁目1番8号

(74) 代理人 100099944

弁理士 高山 宏志

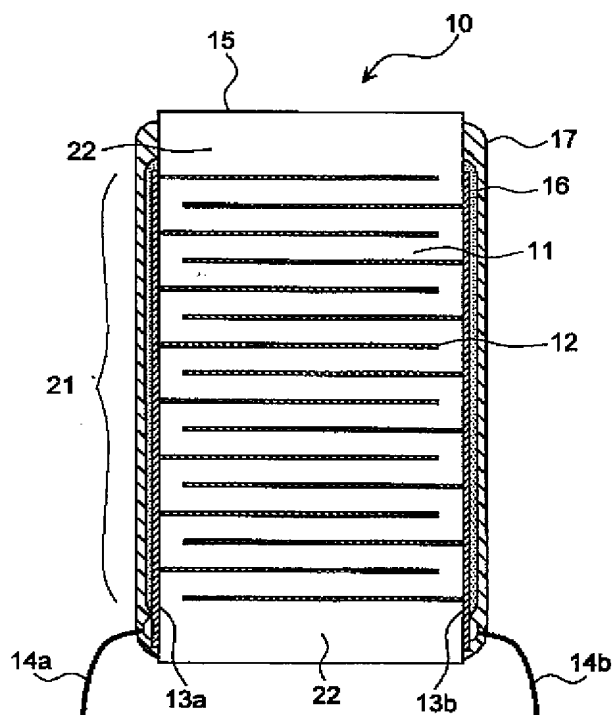
[最終頁に続く](#)

(54) 【発明の名称】 積層型圧電素子とその製造方法ならびに積層型圧電素子用封止材料

(57) 【要約】

【課題】 素子的大型化と製造コストの高騰を回避しつつ、耐久性、信頼性を高めた積層型圧電素子とその製造方法、積層型圧電素子に用いられる封止材料を提供する。

【解決手段】 積層型圧電素子の一実施形態である圧電アクチュエータ１０は、圧電セラミックス１１と内部電極１２とが交互に積層され、隣り合う圧電セラミックス１１には互いに逆向きとなる電界が内部電極１２を介して印加されることによって圧電セラミックス１１に変位が生ずる。圧電アクチュエータ１０の側面の略全体をガラスで被覆することで耐湿性を向上させて、信頼性、耐久性を高める。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 圧電セラミックスと電極とが交互に積層され、隣り合う圧電セラミックスには互いに逆向きとなる電界が印加されることによって前記圧電セラミックスに変位が生ずる積層型圧電素子であって、前記積層型圧電素子の側面の略全体がガラスで被覆されていることを特徴とする積層型圧電素子。

【請求項2】 前記ガラスには独立気泡が略均一に分散していることを特徴とする請求項1に記載の積層型圧電素子。

【請求項3】 前記ガラスには結晶性粉末が略均一に分散していることを特徴とする請求項1または請求項2に記載の積層型圧電素子。

【請求項4】 前記ガラスは、アルカリ金属成分の含有量が100ppm以下である低融点ガラスであることを特徴とする請求項1から請求項3のいずれか1項に記載の積層型圧電素子。

【請求項5】 前記ガラスは、ホウケイ酸ガラス、ホウ酸ガラス、鉛ケイ酸ガラスまたはリン酸塩ガラスのいずれかであることを特徴とする請求項1から請求項4のいずれか1項に記載の積層型圧電素子。

【請求項6】 前記ガラスの熱膨張率は、前記圧電セラミックスの熱膨張率の1.5倍以上4倍以下であることを特徴とする請求項1から請求項5のいずれか1項に記載の積層型圧電素子。

【請求項7】 前記ガラスを覆うように樹脂の被膜が形成されていることを特徴とする請求項1から請求項6のいずれか1項に記載の積層型圧電素子。

【請求項8】 積層型圧電素子の製造方法であって、圧電セラミックスと電極とが交互に積層された積層体を作製する第1工程と、前記積層体の側面の所定位置に前記電極と導通する一対の外部電極を形成する第2工程と、前記積層体の側面の略全体にガラスペーストを塗布して塗布膜を形成する第3工程と、前記塗布膜が形成された積層体を加熱処理してガラス被膜を形成する第4工程と、を有することを特徴とする積層型圧電素子の製造方法。

【請求項9】 前記第3工程において、一度溶融したガラスを粉碎して作製したガラス粉末と結晶性粉末とが均一に混合されたガラスペーストを用いることによって、前記第4工程で形成されるガラス被膜中に前記結晶性粉末を均一に分散させることを特徴とする請求項8に記載の積層型圧電素子の製造方法。

【請求項10】 前記第3工程において、一度溶融したガラスを粉碎して作製したガラス粉末と焼成によって気泡を発生させる物質の粉末とが均一に混合されたガラスペーストを用いることによって、前記第4工程で形成されるガラス被膜中に独立気泡を略均一に存在させることを特徴とする請求項8に記載の積層型圧電素子の製造方

法。

【請求項11】 前記第4工程における加熱処理は、前記ガラスペーストに含まれるガラスの軟化点と融点との間の温度で行うことを特徴とする請求項8から請求項10のいずれか1項に記載の積層型圧電素子の製造方法。

【請求項12】 前記第4工程において形成されるガラス被膜の熱膨張率が前記圧電セラミックスの熱膨張率の1.5倍以上4倍以下となるガラスペーストを前記第3工程において用いることにより、前記ガラス被膜に圧縮応力が掛けられた状態とすることを特徴とする請求項8から請求項11のいずれか1項に記載の積層型圧電素子の製造方法。

【請求項13】 圧電セラミックスと電極とが交互に積層され、前記圧電セラミックスに電界を印加することによって前記圧電セラミックスに変位が生ずる積層型圧電素子を被覆する積層型圧電素子用封止材料であって、アルカリ金属成分の含有量が100ppm以下の低融点ガラスからなることを特徴とする積層型圧電素子用封止材料。

【請求項14】 前記低融点ガラスは、ホウケイ酸ガラス、ホウ酸ガラス、鉛ケイ酸ガラスまたはリン酸塩ガラスのいずれかであることを特徴とする請求項13に記載の積層型圧電素子用封止材料。

【請求項15】 前記低融点ガラスの熱膨張率は、前記圧電セラミックスの熱膨張率の1.5倍以上4倍以下であることを特徴とする請求項13または請求項14に記載の積層型圧電素子用封止材料。

【請求項16】 前記低融点ガラスは均一に分散した結晶性粉末を含むことを特徴とする請求項13から請求項15のいずれか1項に記載の積層型圧電素子用封止材料。

【請求項17】 前記低融点ガラスは均一に分散した独立気泡を含むことを特徴とする請求項13から請求項16のいずれか1項に記載の積層型圧電素子用封止材料。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、例えば、位置決め装置や振動発生装置等に用いられる積層型圧電アクチュエータや、所定電圧の昇圧等に用いられる圧電トランス等の積層型圧電素子とその製造方法、積層型圧電素子に用いられる封止材料に関する。

【0002】

【従来の技術】積層型の圧電アクチュエータは、サブミクロンオーダーでの変位量の調節が可能であり、また、電気信号に対する応答性が速く、発生力大きいことから、例えば、X-Yステージ等の精密位置決め装置に用いられている。図6の断面図に示すように、積層型の圧電アクチュエータ90は、一般的に、圧電セラミックス91と内部電極92とが交互に積層され、隣り合う圧電セラミックス91には互いに逆向きとなる電界が内部電

極92を介して印加されるように、内部電極92が一層おきに外部電極93a・93bに接続された構造を有する。

【0003】また、外部電極93a・93bには、はんだ付け等によってリード線94a・94bが取り付けられており、圧電セラミックス91と内部電極92とからなる積層体95の側面（圧電セラミックス91の積層方向に平行な面をいう）は耐湿性に優れた樹脂96により被覆されている。樹脂96は圧電アクチュエータ90の使用環境下における水蒸気から、積層体95や外部電極93a・93bを保護する役割を果たす。このような圧電アクチュエータ90において、リード線94a・94bを介して所定の電圧を圧電セラミックス91に印加すると、圧電セラミックス91に伸縮変位が発生する。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、樹脂96を用いた積層体95の被覆方法では、長期間の使用や過酷な温湿度環境下において、空気中に含まれる水蒸気が樹脂96を通して積層体95の側面に入り込んで側面放電を引き起こす問題がある。また、一般的に、内部電極92としては、銀（Ag）／パラジウム（Pd）電極が用いられ、外部電極93a・93bには銀電極が用いられるために、積層体95の側面に入り込んだ水蒸気によって銀がマイグレーションを起こして圧電アクチュエータ90の絶縁抵抗が低くなり、絶縁破壊を起こす問題がある。このように、従来の樹脂96による積層体95の側面の被覆には、信頼性や耐久性の面で問題がある。

【0005】このような問題を解決するために、積層体95を金属管の内部に密閉封入する方法も用いられている。しかし、金属管を用いた場合には、圧電アクチュエータの大きさが極端に大きくなる問題がある。また、金属管を密閉するために溶接作業が必要となり、さらに、リード線を金属管から取り出す部分にはハーメチックシールが必要となる等、製造工程が複雑となり、製造コストが高くて、製品価格が高くなる問題がある。

【0006】本発明はこのような事情に鑑みてなされたものであり、素子の大型化と製造コストの高騰を回避しつつ、耐久性、信頼性を高めた積層型圧電素子とその製造方法を提供することを目的とする。また、本発明は、このような積層型圧電素子に好適に用いられる封止材料を提供する。

【0007】

【課題を解決するための手段】すなわち、本発明によれば、圧電セラミックスと電極とが交互に積層され、隣合う圧電セラミックスには互いに逆向きとなる電界が印加されることによって前記圧電セラミックスに変位が生ずる積層型圧電素子であって、前記積層型圧電素子の側面の略全体がガラスで被覆されていることを特徴とする積層型圧電素子、が提供される。

【0008】ここで、「前記積層型圧電素子の側面」と

は圧電セラミックスと電極の積層方向に平行な面をいう。また、「前記積層型圧電素子の側面の略全体がガラスで被覆されている」とは、少なくとも積層型圧電素子において圧電セラミックスが変位を起こす部分（圧電セラミックスを挟む電極を含む）の側面はガラスで被覆されている必要があるが、例えば、積層型圧電素子の積層方向端に設けられる圧電不活性な保護層の側面は必ずしもガラスで被覆されている必要がないことや、積層型圧電素子の側面にリード線を取り付ける場合には、その取り付け位置を確保するために積層型圧電素子の側面にガラス被膜が形成されていない部分が設けられることが許容されることを意味する。

【0009】積層型圧電素子の側面に形成されたガラスの被膜には独立気泡が略均一に分散していることが好ましい。また、このガラスの被膜には結晶性粉末が略均一に分散していることが好ましい。このような複合構造を有するガラスを用いることによって、ガラスの耐久性を高めることができる。ガラスとしては、アルカリ金属成分の含有量が100ppm以下の低融点ガラスが好適に用いられる。アルカリ金属成分の含有量を小さくすることで絶縁抵抗を高くすることができる。また、低融点ガラスを用いることで低い温度での焼成が可能となる。低融点ガラスとしては、ホウケイ酸ガラス、ホウ酸ガラス、鉛ケイ酸ガラスまたはリン酸塩ガラスを挙げることができる。ガラスの熱膨張率は、圧電セラミックスの熱膨張率の1.5倍以上4倍以下であることが好ましい。この場合には、焼成によってガラスの被膜が形成された後の降温時にガラスに圧縮応力が掛かるため、ガラスの耐久性が高められる。さらにまた、ガラスの被膜を覆うように樹脂被膜を形成すると、より耐湿性を向上させることができる。

【0010】本発明によれば、このような積層型圧電素子の製造方法、すなわち、積層型圧電素子の製造方法であって、圧電セラミックスと電極とが交互に積層された積層体を作製する第1工程と、前記積層体の側面の所定位置に前記電極と導通する一対の外部電極を形成する第2工程と、前記積層体の側面の略全体にガラスペーストを塗布して塗布膜を形成する第3工程と、前記塗布膜が形成された積層体を加熱処理してガラス被膜を形成する第4工程と、を有することを特徴とする積層型圧電素子の製造方法、が提供される。

【0011】ガラスペーストとして、一度溶融したガラスを粉砕して作製したガラス粉末と結晶性粉末とが均一に混合されたものを用いることによって、結晶性粉末が均一に分散したガラス被膜を得ることができる。また、ガラスペーストとして、一度溶融したガラスを粉砕して作製したガラス粉末と焼成によって気泡を発生させる物質の粉末とが均一に混合されたものを用いることによって、独立気泡が均一に存在するガラス被膜を得ることができる。独立気泡と結晶性粉末を同時にガラス被膜に分

散させることも可能である。第4工程では、ガラスペーストに含まれるガラスの軟化点と融点との間の温度で焼成を行うと、良好なガラス被膜を形成することができる。

【0012】さらに、本発明によれば、上述した本発明の積層型圧電素子に用いられる封止材料、すなわち、圧電セラミックスと電極とが交互に積層され、前記圧電セラミックスに電界を印加することによって前記圧電セラミックスに変位が生ずる積層型圧電素子を被覆する積層型圧電素子用封止材料であって、アルカリ金属成分の含有量が100ppm以下の低融点ガラスからなることを特徴とする積層型圧電素子用封止材料、が提供される。

【0013】従来は、積層型圧電素子の側面の略全体をガラスで被覆することは、ガラスが圧電セラミックスの変位を抑制し、積層型圧電素子の特性を低下させることや、積層型圧電素子の伸縮変位にガラスが追従できずにガラスにクラックが生じること等を理由に、行われていなかった。しかし、本発明のように、積層型圧電素子の側面の略全体をガラスで被覆する際の条件を適切なものとするにより、積層型圧電素子の変位特性を劣化させることなく耐湿性を向上させて、信頼性と耐久性を高めることが可能となる。また、この場合には、金属管を用いる必要がないために積層型圧電素子の大型化をも回避することができる。さらに、積層型圧電素子を樹脂で被覆した場合と比較しても、ガラスペーストの塗布とその焼成という工程が増えるものの、製造コストはほとんど高くない。

【0014】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施の形態について、積層型圧電素子の一形態である積層型圧電アクチュエータを例に説明することとする。図1は圧電アクチュエータ10の概略構造を示す断面図である。圧電アクチュエータ10は、圧電セラミックス11と内部電極12とが交互に積層され、隣り合う圧電セラミックス11には互いに逆向きとなる電界が内部電極12を介して印加されるように、内部電極12は1層おきに外部電極13a・13bに接続された構造を有する。

【0015】圧電セラミックス11と内部電極12からなる積層体15において、内部電極12によって挟まれた圧電セラミックス11は、内部電極12に電圧を印加した際に圧電セラミックス11が有する圧電定数の大きさや電界の大きさに依存して変位を生ずる圧電活性部21となる。圧電セラミックス11としては、チタン酸ジルコン酸鉛（略称PZT）系の圧電セラミックスが好適に用いられる。また、内部電極12としては、後述するように積層体15が同時焼成法によって好適に作製されるために、銀（Ag）／パラジウム（Pd）電極が好適に用いられる。

【0016】一方、積層体15の積層方向端は、内部電極12によって挟まれていないために内部電極12に電

圧を印加しても変位を起こさない圧電不活性な保護層22となっている。この保護層22は、例えば、圧電アクチュエータ10の端面の変位量を端面全体で一定とするために、また、圧電アクチュエータ10を各種装置へ組み込む際の便宜を考慮して、必要に応じて設けられる。

【0017】積層体15の側面（圧電セラミックス11の積層方向に平行な面をいう）の略全体にはガラス被膜16が形成されている。保護層22の側面には外部電極13a・13bがガラス被膜16によって被覆されていない部分が形成されており、この部分にリード線14a・14bがはんだ付け等によって取り付けられている。また、ガラス被膜16を被覆するように樹脂被膜17が形成されている。

【0018】圧電アクチュエータ10において、ガラス被膜16は少なくとも圧電活性部21の側面を被覆するように形成する。ガラスは大気中の水蒸気を透過させないために、このガラス被膜16によって圧電活性部21の側面および内部への水蒸気の浸透が防止される。こうして、圧電アクチュエータ10では、積層体15の側面での短絡（側面放電）の発生が防止され、また、内部電極12に含まれる銀のマイグレーションによる絶縁抵抗の低下が抑制されるために、信頼性と耐久性を高めることができる。

【0019】圧電活性部21の側面および内部への水蒸気の浸透を防止する観点からは、保護層22をも含めた積層体15の側面全体を被覆するように、ガラス被膜16を形成することが好ましい。ガラス被膜16を被覆するように樹脂被膜17を設けることで、積層体15への水蒸気の浸透をさらに抑制して、信頼性と耐久性を高めることができる。

【0020】なお、リード線14a・14bを保護層22の側面において外部電極13a・13bに取り付けることが好ましい。これは、保護層22は伸縮変位を起こさないためにリード線14a・14bが外れ難く、また、リード線14a・14bの取付部分が圧電活性部21の変位を阻害しないからである。

【0021】ガラス被膜16には、例えば、アルミナ（ Al_2O_3 ）、ジルコニア（ ZrO_2 ）チタニア（ TiO_2 ）、石英（ SiO_2 ）、チタン酸鉛（ $PbTiO_3$ ）、ケイ酸ジルコニウム（ ZrO_2-SiO_2 ）、コーゼライト（ $2MgO \cdot 2Al_2O_3 \cdot 5SiO_2$ ）、圧電セラミックス11と同等組成の圧電セラミックス粉末等の結晶性粉末を略均一に分散させることが好ましく、ガラス被膜16が結晶性粉末を含まない場合よりも耐久性を高めることができる。また、これらの結晶性粉末はガラス被膜16の熱膨張率を小さくして、ガラス被膜16の熱膨張率を圧電セラミックス11の熱膨張率に近づける役割も果たす。ガラス被膜16には独立気泡を略均一に分散させることも好ましく、この場合には、さらに耐久性を高めることができる。ガラス被膜1

6に独立気泡を略均一に分散させつつ、さらに、結晶性粉末を略均一に分散させることも可能である。

【0022】ガラス被膜16に結晶性粉末や独立気泡を分散させることによる耐久性向上の原因は明らかではないが、圧電アクチュエータ10を駆動すると圧電活性部21の伸縮変位によってガラス被膜16には応力が掛かり、この応力によってガラス被膜16にクラックが発生し易くなるが、独立気泡や結晶性粉末は、この応力を緩和してクラックの発生を防止する効果があるものと推測される。

【0023】ガラス被膜16としては、アルカリ金属成分の含有量が100ppm以下の低融点ガラスを用いることが好ましい。アルカリ金属成分の含有量が多いと、ガラス被膜16の絶縁抵抗が低くなり、また、アルカリ金属成分が外部電極13a・13b近傍に拡散して絶縁抵抗が低くなるために、外部電極13a・13b近傍で放電が起こって短絡に至ったり、銀のマイグレーション速度が早くなって、圧電アクチュエータ10の平均寿命が短くなる。本発明における低融点ガラスとは融点が900℃以下であるガラスを指し、例えば、ホウケイ酸ガラス($B_2O_3-SiO_2$ 系)、ホウ酸ガラス(B_2O_3 系)、鉛ケイ酸ガラス($PbO-SiO_2$ 系)、リン酸塩ガラス(PO_3 系)を挙げることができる。

【0024】ガラス被膜16の熱膨張率は、圧電セラミックス11の熱膨張率の1.5倍以上4倍以下であることが好ましい。このようにガラス被膜16の熱膨張率が圧電セラミックス11の熱膨張率よりも大きい場合には、ガラス被膜16が焼成によって形成されてその後に室温に冷却されたときに、ガラス被膜16に圧縮応力が加わるようになるため、ガラス被膜16の強度が大きくなって耐久性が高められる。

【0025】図2は圧電アクチュエータ10を同時焼成法(一体焼結法)によって作製する場合の概略の製造方法を示す説明図(フローチャート)である。次に、この図2を参照しながら圧電アクチュエータ10の製造方法について説明する。

【0026】圧電アクチュエータ10を同時焼成法によって作製する場合には、最初に、所定の組成を有するチタン酸ジルコン酸鉛(PZT)系等の圧電セラミックス粉末を用いて、ドクターブレード法や押出成形法等の公知の厚膜作製方法によって、例えば、50 μm ~150 μm 程度の所定の厚みのグリーンシートを作製する(ステップ1)。続いて、このグリーンシートを所定の形状に打ち抜き加工等したものに、スクリーン印刷法等によって内部電極ペーストを印刷する(ステップ2)。ここで、グリーンシートの焼成は、一般的に1100℃以上の高温で行われるために、内部電極ペーストとしては、このような高温での焼成が可能であり、かつ、安価な、銀/パラジウムペーストが好適に用いられる。

【0027】内部電極ペーストが印刷されたグリーンシ

ートを所定枚数積層して熱プレスにより一体化し(ステップ3)、こうして一体化された積層体を所定の条件にて焼成する(ステップ4)ことで、圧電セラミックス11と内部電極12からなる積層体15が作製される。なお、内部電極ペーストが印刷されていないグリーンシートを複数枚積層することによって保護層22を形成することができる。

【0028】内部電極12が一層おきに導通するように、積層体15の側面の所定位置に外部電極13a・13bとなる外部電極ペーストを印刷し、所定の温度で焼成する(ステップ5)。外部電極ペーストとしては、グリーンシートの焼成温度よりも低い800℃程度で焼成が可能な銀ペーストを用いることができ、保護層22に延在するように外部電極ペーストを印刷しておく。

【0029】外部電極13a・13bが形成されたら、積層体15の側面全体にガラスペーストを塗布して塗布膜を形成する(ステップ6)。このとき、外部電極13a・13bにおいて後にリード線14a・14bが取り付けられる部分には、ガラスペーストを塗布しない。ガラスペーストの塗布方法としては、スクリーン印刷やディッピング、刷毛塗り等の方法を用いることができ、好ましくは、膜厚を一定とすることが容易であるスクリーン印刷またはディッピングを用いることが好ましい。

【0030】スクリーン印刷や刷毛塗りによってガラスペーストを積層体15に塗布する場合には、ガラスペーストの粘度を比較的大きくしてもよいが、ディッピングによってガラスペーストを積層体15に塗布する場合には、ガラスペーストは粘度の低いスラリー状とすることが好ましい。

【0031】ガラスペーストの塗布膜の厚みは、焼成後に形成されるガラス被膜16の機械的特性等を考慮して定める。例えば、硬度の大きいガラスであれば、ガラス被膜16を薄く形成することで、ガラス被膜16による圧電活性部21の変位量の低下を防止することができる。具体的には、30 μm ~300 μm の厚みのガラス被膜16が得られるように、ガラスペーストの塗布膜の厚みを調節する。

【0032】ガラスペーストとしては、一度溶融して均一な組成となったガラスを後に粉砕して所定の粒度分布を有するように調整した粉末に、バインダと溶剤等を混ぜて均一に混合したものをを用いることが好ましい。ガラスを作製するための原料となる酸化物や金属炭酸塩等の粉末が混合されたガラスペーストを用いて均一な組成のガラス被膜16を得るためには、一般的に、焼成温度をガラスペーストの塗布膜が溶融する温度にまで上げる必要がある。しかし、この場合には結果的にガラスが流れ出し易くなるために目的とする厚みのガラス被膜16を得ることは困難である。一方、ガラスペーストの塗布膜全体が溶融する温度にまで焼成温度を上げなかった場合には、ガラスを構成する各成分の混合が起こり難いため

に均一な組成のガラス被膜を得ることが困難となる。

【0033】ガラスペーストの焼成温度は、外部電極13a・13bの焼成温度以下とする。これは、外部電極13a・13bの熔融を防止するためである。本発明においては、前述したように、ガラス被膜16として、ホウケイ酸ガラス、ホウ酸ガラス、鉛ケイ酸ガラスまたはリン酸塩ガラスが好適に用いられる。例えば、ホウケイ酸ガラスを用いる場合には、酸化鉛(PbO)や酸化亜鉛(ZnO)をガラス成分として添加することでガラスの融点を下げることができ、これによってガラスペーストの焼成温度を下げるができる。

【0034】外部電極13a・13bとガラスペーストの焼成温度が同じである場合には、これらを同時焼成することも可能である。つまり、外部電極13a・13bを形成するために外部電極ペーストを所定位置に塗布して乾燥し、続いてガラスペーストを所定位置に塗布して乾燥し、その後に焼成を行うことで、外部電極13a・13bとガラス被膜16とを同時形成することができる。

【0035】ガラスペーストを焼成して形成されるガラス被膜16に独立気泡を分散させる場合には、ガラスペーストの焼成時に焼失する発泡剤や、熔融時にガラス被膜16のガラス成分となる元素の炭酸塩、例えば、炭酸水素アンモニウム(NH_4HCO_3)や、炭酸カルシウム(CaCO_3)等をガラスペーストに添加する。また、ガラスペーストを焼成して形成されるガラス被膜16に結晶性粉末を分散させる場合には、ガラスペーストにその結晶性粉末を分散させておけばよい。結晶性粉末としては、ガラスペーストの焼成時にガラスを構成する成分となってガラスに完全に溶解することがないものを選択することが好ましい。

【0036】ガラスペーストの塗布膜が形成された積層体15を所定条件にて焼成することで、ガラスペーストの塗布膜を焼成し、ガラス被膜16を形成する(ステップ7)。この焼成処理においては、ガラスペーストの塗布膜を形成しているガラス粒子どうしが焼結して均一なガラス被膜16が得られるように、ガラス粒子の少なくとも表面においては流動性の高まった状態となるが、ガラスペーストの塗布膜の形状が崩れてガラスが熔融して流れ出すことがないように、焼成温度と時間を設定する。具体的には、ガラスペーストの塗布膜の焼成温度はガラスの軟化点と融点との間の温度とすることが好ましく、これによりガラスが流れ出す程度にまでガラスを熔融させることなく、均一なガラス被膜16を形成することができる。

【0037】ガラスペーストの塗布膜の焼成が終了した後は、形成されたガラス被膜16にサーマルショックによるクラックが発生しないように、焼成試料の降温条件を調整することが好ましい。また、ガラス被膜16の熱膨張率を圧電セラミックス11の熱膨張率よりも大き

くすることで、降温時にガラス被膜16に圧縮応力を発生させてガラス被膜16へのサーマルショックによるクラックの発生を防止することができる。

【0038】ガラス被膜16が形成されたら、外部電極13a・13bが露出している部分に、リード線14a・14bをはんだ付け等して取り付ける(ステップ8)。その後さらにリード線14a・14bの取付部分とガラス被膜16とを被覆するように、樹脂被膜17を形成する(ステップ9)。ここで、樹脂としてはエポキシ樹脂等の耐湿性に優れた樹脂を用いることが好ましい。樹脂被膜17の形成方法としては、ディッピングや粉体塗装法を用いることができる。最後に、リード線14a・14b間に所定の電圧を印加して圧電セラミックス11を分極処理する(ステップ10)ことで、圧電アクチュエータ10を得ることができる。

【0039】

【実施例】次に、本発明の実施例について説明する。

(実施例1) 前述した圧電アクチュエータ10の作製方法に従って、まず、チタン酸ジルコン酸鉛を主成分とした圧電セラミックス粉末にバインダと溶剤を添加して均一に混合してスラリーを作製し、スリップキャストイングによって、厚み100 μm のグリーンシートを作製した。

【0040】このグリーンシートに銀/パラジウムペースト(内部電極ペースト)を所定のパターンで印刷して内部電極ペーストを乾燥させた後に、最初に内部電極ペーストが印刷されていないグリーンシートを10枚積層し、続いて内部電極ペーストが印刷されたグリーンシートを100層積層し、最後に内部電極ペーストが印刷されていないグリーンシートを10枚積層して熱圧着し、積層体を作製した。この積層体を1100℃で2時間焼成し、得られた焼結体に銀/パラジウムペーストを印刷して850℃で10分間焼成して外部電極を形成した。

【0041】次に、外部電極が形成された焼結体の側面にガラスペーストを刷毛塗りにて塗布し、その後120℃で乾燥した。ここでは、一度熔融されて均一な組成とされ、アルカリ金属成分の含有量が40ppm以下であり、亜鉛と鉛を含む低融点のホウケイ酸ガラス(酸化ホウ素(B_2O_3):6wt%(重量%)、二酸化珪素(SiO_2):44wt%、酸化鉛(PbO):47wt%、酸化亜鉛(ZnO):2wt%、酸化アルミニウム(Al_2O_3):1wt%)を、平均粒径が6 μm 以下となるまで粉碎し、得られたガラス粉末と液状の粘結剤とを重量比で4:1の割合に均一に混合したものに、さらにこれら全体の重さに対して5wt%の重さの溶剤を加えて粘度を調節したガラスペーストを用いた。

【0042】ガラスペーストの作製材料であるホウケイ酸ガラスの軟化点は620℃、融点は680℃であり、また絶縁抵抗は $1 \times 10^{11} \Omega$ である。また、ホウケイ酸ガラスの熱膨張係数は $3 \sim 5 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ であり、

圧電セラミックスの熱膨張係数 $1.8 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ よりも少し大きいものを用いた。

【0043】ガラスペーストの塗布膜が形成された積層体を、 400°C までは $65^\circ\text{C}/\text{時間}$ で昇温し、 400°C で2時間保持した後に、2時間で 650°C まで昇温して1時間保持し、その後に $100^\circ\text{C}/\text{時間}$ で降温して、ガラス被膜を形成した。形成されたガラス被膜の厚さは約 $100\mu\text{m}$ であった。ガラス被膜が形成された積層体にリード線をはんだ付けして取り付け、さらに樹脂被膜をガラス被膜を覆うように形成した。この樹脂被膜は、エポキシ樹脂を用いてディッピングにより形成し、エポキシ樹脂の硬化処理を 80°C で3時間行った。形成された樹脂被膜の厚みは約 $150\mu\text{m}$ であった。

【0044】得られた圧電アクチュエータの分極処理は、 80°C のシリコン絶縁油中で $3\text{ kV}/\text{mm}$ の電界を圧電セラミックスの各層に印加することにより行い、その後にエージングを行うことで、実施例1の圧電アクチュエータを作製した。

【0045】(実施例2) 上述した実施例1の圧電アクチュエータの作製方法において、樹脂被膜を形成することなく、その他は実施例1の作製方法と同様にして作製された圧電アクチュエータを実施例2の圧電アクチュエータとする。

【0046】(実施例3) 実施例1の圧電アクチュエータの作製方法において、ガラスペーストとしてアルミナ粉末が添加されたガラスペーストが用いられ、かつ、樹脂被膜を形成することなく、その他は実施例1の作製方法と同様にして作製された圧電アクチュエータを実施例3の圧電アクチュエータとする。実施例3の圧電アクチュエータに形成されたガラス被膜には、アルミナ粉末が均一に分散していた。

【0047】ここで、アルミナ粉末が添加されたガラスペーストは、実施例1の圧電アクチュエータの作製に使用されたガラスペーストに用いられているガラス粉末と同じガラス粉末に、平均粒径が $10\mu\text{m}$ のアルミナ粉末をガラス粉末の重量に対して $10\text{ wt}\%$ 添加して、このガラス粉末とアルミナ粉末の混合物と液状の粘結剤とを重量比で4:1の割合に均一に混合したものに、さらにこれら全体の重さに対して $5\text{ wt}\%$ の重さの溶剤を加えて粘度を調節することで作製された。

【0048】(実施例4) 実施例1の圧電アクチュエータの作製方法において、ガラスペーストとして炭酸水素アンモニウム微結晶が添加されたガラスペーストが用いられ、かつ、樹脂被膜を形成することなく、その他は実施例1の作製方法と同様にして作製された圧電アクチュエータを実施例4の圧電アクチュエータとする。実施例4の圧電アクチュエータに形成されたガラス被膜には、微細な独立気泡が均一に分散していた。

【0049】ここで、炭酸水素アンモニウムが添加されたガラスペーストは、実施例1の圧電アクチュエータの

作製に使用されたガラスペーストに用いられているガラス粉末と同じガラス粉末に、炭酸水素アンモニウム微結晶をガラス粉末の重量に対して $2\text{ wt}\%$ 添加して、このガラス粉末と炭酸水素アンモニウム微結晶の混合物と液状の粘結剤とを重量比で4:1の割合に均一に混合したものに、さらにこれら全体の重さに対して $5\text{ wt}\%$ の重さの溶剤を加えて粘度を調節することで作製された。

【0050】(比較例1) 上述した実施例1の圧電アクチュエータの作製方法において、ガラス被膜および樹脂被膜を形成していない圧電アクチュエータを比較例1とする。

【0051】(比較例2) 上述した実施例1の圧電アクチュエータの作製方法において、ガラス被膜を形成することなく、外部電極が形成された積層体の側面に直接に樹脂被膜を形成した圧電アクチュエータを比較例2とする。実施例1~4、比較例1・2の圧電アクチュエータは同等のものを複数作製した。実施例1~4と比較例1・2の圧電アクチュエータにおける積層体の形状は、 $5\text{ mm} \times 5\text{ mm} \times 10\text{ mm}$ である。

【0052】(変位量測定) 実施例1と比較例1の圧電アクチュエータに直流電圧 150 V を印加したときの変位量はそれぞれ $9\mu\text{m}$ と $11\mu\text{m}$ であった。また、比較例2の圧電アクチュエータに直流電圧 150 V を印加したときの変位量は $10\mu\text{m}$ であった。このように、ガラス被膜の形成による変位量低下は、ガラス被膜を形成せずに樹脂被膜のみを形成した場合と比較しても、 10% 程度の低下にとどまり、ガラス被膜を形成することは圧電アクチュエータの変位特性の観点から実用上支障のないことが確認された。

【0053】(圧電アクチュエータの信頼性試験) 図3は実施例1と比較例2の圧電アクチュエータの信頼性試験の結果を示す説明図(グラフ)である。ここでの信頼性試験は、各種の圧電アクチュエータを温度 85°C 、湿度 90% に調節された恒温恒湿雰囲気中に晒した状態で、所定の大きさの直流電圧を連続して印加したときに、圧電アクチュエータが故障に至るまでの平均故障時間(MTTF)を、ワイブルプロットによって算出して求めることを行った。この平均故障時間(MTTF)は、圧電アクチュエータが故障に至るまでの平均時間であって、圧電アクチュエータが故障に至った時間は、圧電アクチュエータの絶縁抵抗の大きさが $10^6\Omega$ 以下となった時間であると定義した。なお、実施例1では、信頼性試験に長期を要するために、以下に示すMTTF式によって平均故障時間(MTTF)を換算して求めた。

$$\text{MTTF} = \text{MTTF}_0 \times K_t \times K_v$$

MTTF₀: 標準となるMTTF値

K_t: 温度による加速係数(= 1.4

$(T_0 - T) / 10$)

K_v: 電圧による加速係数(= $(V_0 / V)^{2.5}$)

T₀: 標準となる温度

V_0 : 標準となる電圧

【0054】図3に示されるように、従来の積層体の側面に樹脂被膜のみを形成した比較例2ではMTTFは1000時間以下であるのに対し、本発明のガラス被膜を形成した実施例1のMTTFは2万時間から3万時間となっており、格段に優れた特性を示すことが確認された。

【0055】(実施例の圧電アクチュエータにおけるガラス被膜の耐久性試験)図4は、実施例2～4の圧電アクチュエータについて、ガラス被膜の耐久性試験を行った結果を示す説明図(グラフ)である。この耐久性試験は、実施例2～4の各圧電アクチュエータについて、各5個合計15個を交流電源に並列に接続して、温度25℃、湿度34%の雰囲気において、周波数100Hz、電圧0V～150Vの正弦波交流電圧による駆動を行い、ガラス被膜にクラックが発生するまでの時間(クラックが発生するまでの振動回数)を測定することで行った。

【0056】実施例2の圧電アクチュエータでは、1500万回の振動で1個に、2000万回の振動で4個にクラックが発生した。また、実施例3の圧電アクチュエータでは、1億2000万回の振動で2個に、1億5000万回の振動で3個にクラックの発生が確認され、ガラス被膜に結晶性粉末を含有させることで、耐久性が高められることが確認された。さらに、実施例4の圧電アクチュエータでは、10億回の振動で初めて1個のガラス被膜にクラックが発生し、ガラス被膜に独立気泡を分散させることで、さらに耐久性を高めることができることが確認された。このように、圧電アクチュエータの側面に形成されたガラス被膜は十分な耐久性を有する。なお、発生したクラックの幅は1μm～3μmであり、このようなクラックが発生しても、なお圧電アクチュエータは駆動可能であり、クラックの発生に至るまでの時間は圧電アクチュエータの使用壽命を示すものではない。

【0057】以上、本発明の実施の形態と実施例について説明したが、本発明は上記実施の形態と実施例に限定されるものではない。例えば、上記実施の形態では、積層型圧電アクチュエータとして、図1に示すように、一般的に積層コンデンサ型と呼ばれる構造を挙げたが、その他にも、公知の全面電極型やスリット型(応力緩和型)といった各種構造を有する積層型圧電アクチュエータに本発明を適用することができることはいうまでもない。また、積層型圧電アクチュエータは同時焼成法によって作製されるものに限定されない。

【0058】さらに本発明は、例えば、積層型圧電トランス等のその他の積層型圧電素子に適用することができる。図5は、一般的な積層型の圧電トランス30の構造を示す斜視図であり、圧電トランス30は、長手方向の半分が圧電セラミックス31と内部電極32とが交互に積層された入力部35aとなっており、残りの半分が圧

電セラミックス33からなる出力部35bとなっている。

【0059】内部電極32は一層おきに入力電極34aおよびアース電極34bに接続され、出力部35bの端面には出力電極34cが形成されている。入力部35aでは、隣り合う圧電セラミックス31の分極の向きが逆になっており、出力部35bでは、長手方向に分極が施されている。入力電極34aとアース電極34bとの間に所定の交流電圧を印加して圧電トランス30を共振振動させることで、出力電極34cとアース電極34b間から昇圧された電圧を取り出す。

【0060】圧電トランス30は、裸のまま制御基板に実装されたり、または、樹脂ケース等に収納されて制御基板に実装されるが、このような実装方法を用いた場合には、圧電トランス30の耐湿性がよいものではない。そこで、少なくとも入力部35aにおいて内部電極32が露出している側面にガラス被膜を形成することによって、圧電トランス30の共振振動を妨げることなく、耐湿性を向上させて、信頼性を高めることができる。

【0061】

【発明の効果】上述の通り、本発明によれば、積層型圧電素子における圧電活性部の側面の全体をガラスで被覆することで、積層型圧電素子の特性を劣化させることなく耐湿性を向上させて、信頼性と耐久性を高めることが可能となるという顕著な効果を奏する。また、ガラス被膜に結晶性粉末を分散させ、および/または、独立気泡を分散させることで、さらに耐久性を高めることが可能となる。本発明の積層型圧電素子は、金属管に封入等する必要がないために、素子の大型化を招くことがないという利点もある。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明に係る積層型の圧電アクチュエータの一実施形態を示す概略断面図。

【図2】本発明の圧電アクチュエータの概略の製造方法を示す説明図。

【図3】実施例1と比較例2の圧電アクチュエータの信頼性試験の結果を示す説明図。

【図4】実施例2～4の圧電アクチュエータのガラス被膜の耐久性試験の結果を示す説明図。

【図5】積層型の圧電トランスの概略構造を示す斜視図。

【図6】従来の積層型の圧電アクチュエータの構造を示す概略断面図。

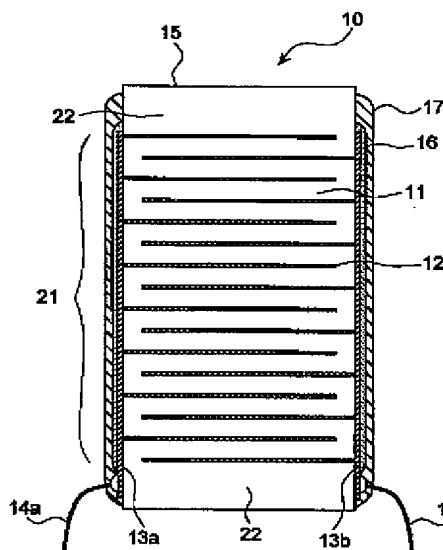
【符号の説明】

- 10; 圧電アクチュエータ(積層型)
- 11; 圧電セラミックス
- 12; 内部電極
- 13a・13b; 外部電極
- 14a・14b; リード線
- 15; 積層体

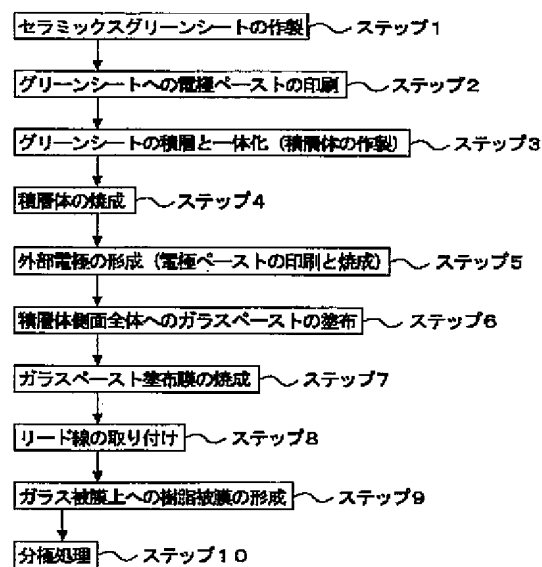
16 ; ガラス被膜
 17 ; 樹脂被膜
 21 ; 圧電活性部
 22 ; 保護層
 30 ; 圧電トランス (積層型)
 31 ; 圧電セラミックス
 32 ; 内部電極
 34 a ; 入力電極
 34 b ; アース電極
 34 c ; 出力電極

35 a ; 入力部
 35 b ; 出力部
 90 ; 圧電アクチュエータ (積層型)
 91 ; 圧電セラミックス
 92 ; 内部電極
 93 a・93 b ; 外部電極
 94 a・94 b ; リード線
 95 ; 積層体
 96 ; 樹脂

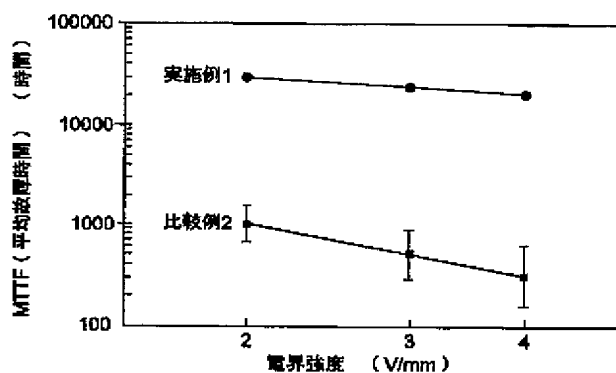
【図1】



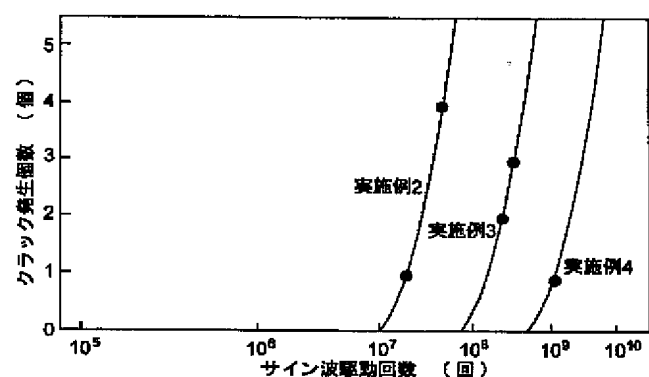
【図2】



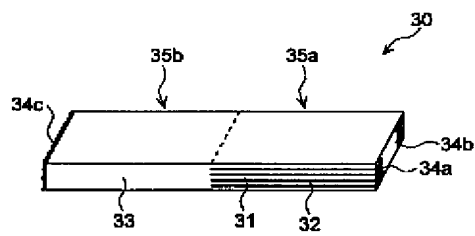
【図3】



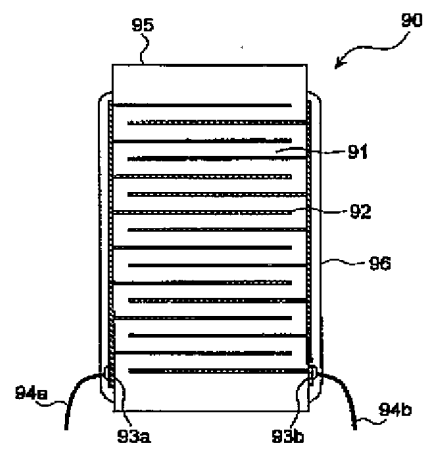
【図4】



【図5】



【図6】



フロントページの続き

(72)発明者 宗片 睦夫
千葉県千葉市若葉区千城台西2-19-51

(72)発明者 白坂 尋和
千葉県松戸市牧の原2丁目牧の原団地1-13-704

(72)発明者 清水 紀夫
東京都日野市南平5-3-45